

УДК 796.012.36

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ЛОКОМОЦИЙ В БИОМЕХАНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ДВИЖЕНИЙ

*Е. В. Гейдель**УО «Могилевский институт Министерства
внутренних дел Республики Беларусь»,
преподаватель кафедры служебно-прикладной подготовки*

Развитие любой науки в современном мире определяется, прежде всего, развитием ее методов. Спортивная наука не исключение. Получение новых знаний о предмете исследований невозможно без развитого методологического аппарата. На современном этапе стремительного развития биомеханики все большее распространение получает внедрение в практику новых видов исследований, современных технологий, что влечет за собой появление новых методик исследования. В ходе изучения двигательных и скоростных характеристик движений часто используются электро-физиологические, механико-электрические методики исследования, неразрывно связанные с оптико-электронными системами. При этом данные методики, помимо лабораторных условий, широко используются в соревнованиях различного ранга.

Вместе с тем с расширением спектра средств и методов исследования, как и в начале становления биомеханики как науки, неизменным остается один из основных объектов ее исследования — движения человека.

В настоящее время оценка технического исполнения спортивного упражнения основывается в большинстве случаев на эмпирическом подходе [1; 2; 3; 4]. В связи с этим числовые измерения характеризуются определенной ограниченностью из-за недостаточности знаний относительно фундаментальных закономерностей, вне зависимости от способа выполнения — вручную или с помощью электронно-вычислительной техники. Это привело к необходимости разработки и создания автоматизированных систем, позволяющих контролировать биомеханические параметры движений спортсменов [5; 6; 7].

На современном этапе развития спортивной науки высок интерес к безмаркерным системам захвата движений как наименее сбивающим спортсмена при выполнении спортивных локомоций. В ходе исследования предпринята попытка обосновать целесообразность использования систем данного типа в биомеханическом анализе спортивных движений.

При исследовании рациональных форм техники спортивных упражнений, как и во многих других биомеханических исследованиях, принято выделять три этапа:

- 1) Сбор биомеханических характеристик.
- 2) Обработка полученных результатов.
- 3) Непосредственно биомеханический анализ.

Сбор характеристик выполняемых движений человека, а также движимых в результате этого тел производится для получения числовых характеристик исследуемого двигательного действия. Изучение технических действий спортсменов невозможно без их регистрации.

В методике биомеханических методов регистрации двигательных действий принято выделять две группы [3; 4; 8]:

1. Оптические методы регистрации движений.
2. Инструментальные методы регистрации движений.

На сегодняшнем этапе развития биомеханических методов исследований в качестве основных, применяемых для регистрации характеристик движений, можно указать оптические методы как наиболее универсальные. Зная уравнения движения математического модуля, описывающего движения спортсмена, возможно по внешней картине движения определение всех динамических характеристик.

Оптические системы регистрации двигательных действий спортсменов

Биомеханическая кинематография. Указанную методику следует относить к бесконтактным средствам измерения. Это универсальный способ, позволяющий единой системой технических средств регистрировать двигательные действия как в процессе тренировок, так и во время соревнований. В качестве технических средств биомеханической кинематографии выступают скоростные кинокамеры, тест-объект, анализатор, компьютер.

С учетом особенностей перемещения тела в пространстве используются разные виды съемок:

- плоскостная, когда движение близко к перемещению в одной плоскости (бег по беговой дорожке, разбег в прыжках в длину и тройном прыжке, плавание кролем). Конечно, в этом случае теряется часть биомеханической информации, но общие закономерности движения уловить можно. Камеру при этом виде съемок устанавливают стационарно;
- панорамирующая, когда камера поворачивается вслед за движением человека, при этом оператор старается держать человека примерно в центре кадра. Этот вид съемок можно применять при фиксации разбега в прыжках в высоту, прохождении конькобежцем поворота, при беге вдоль всей дистанции;

- пространственная, когда съемку проводят двумя камерами, расположенными стационарно под углом 90° между их оптическими осями. Разработана система уравнений, при решении которой по координатам выбранных точек в плоскости кадров каждой из камер восстанавливают три пространственные координаты любой интересующей исследователя точки на теле спортсмена. С помощью пространственной съемки можно изучать в лабораторных и натуральных условиях виды движений, которые выполняют в ограниченном объеме пространства (тяжелая атлетика, метание диска, молота, толкание ядра, подачи в игровых видах спорта и т. д.).

Все виды биомеханической съемки имеют существенные отличия от обычной киносъемки. Среди них нужно выделить необходимость масштабирования пространства съемки для получения количественных данных при дальнейшей обработке; использование кинокамер с большой скоростью съемки (от 100 кадров в секунду и выше) и высокой стабилизацией движения пленки в фильмовом канале.

Для масштабирования перед основной съемкой снимают тест-объект, который расположен в месте, где будут происходить основные перемещения объекта съемки. При плоскостной съемке в качестве тест-объекта может выступать метровый отрезок. При пространственной целесообразно использовать трехмерный куб, у которого в местах соединения ребер есть выделяющиеся метки. Масштабным коэффициентом в данном случае будет являться отношение длины отрезка тест-объекта к длине этого же отрезка на кадре пленки, на который впоследствии умножают все координаты точек на полученных кадрах [4; 8].

Для получения координат точек на теле человека, в качестве которых, как правило, выступают координаты суставов тела человека, в анализатор фильмов после проявки устанавливают пленку и оптически увеличивают кадры примерно в 30 раз. В процессе покадрового отслеживания установленной последовательности выбранных точек оператор вводит в компьютер полученные данные о координатах. После их получения появляется возможность рассчитывать интересные биомеханические характеристики. Стоит помнить, что перед расчетами необходимо сделать корреляцию первичных массивов, чтобы исправить неточности, случайные выбросы, которые могут возникнуть в результате обработки оператора. Сглаживание проводят в компьютере с помощью следующих специальных программ-операций: скользящее среднее, скользящий полином, фильтр Баттерворта второго порядка, сплайн-функция.

Одним из основных недостатков данного метода является необходимость проявки пленки, что ведет к задержке получения данных.

Биомеханическая видеоциклография. Положительным отличием от биомеханической кинематографии можно выделить возможность сразу зафиксировать на видеопленке оптическое изображение выполнения спортивного упражнения. При использовании данного метода применяют все указанные выше виды съемок. Начальные массивы данных регистрируют при помощи видеоанализатора, с помощью которого покадрово вводят изображения в компьютер, производят оцифровку точек, коррелируют полученные массивы, в результате чего по ним возможно рассчитать любые интересующие исследователя биомеханические характеристики.

С развитием технологии скорость видеозаписи многократно выросла, в связи с чем данный метод становится преобладающим бесконтактным методом исследования спортивных движений [8].

Оптоэлектронная циклография. Данная методика относится к лабораторным средствам измерения. Она применяется для анализа техники движений, выполненных в ограниченном пространстве. Необходимые для анализа данные получают в реальном масштабе времени. На суставах крепят активные маркеры — датчики, которые работают в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра. Частота сигнала датчиков устанавливается на блоке управления, соединенным со спортсменом при помощи проводов. Сигнал с датчиков поступает на камеру, где матричный приемник улавливает поступающие инфракрасные сигналы и преобразует их в электронную форму, которая соответствует координатам расположения маркеров в системе координат камеры. Электронные сигналы поступают в компьютер, где преобразуются в цифровые данные, подходящие для работы в программе.

В качестве тест-объекта для масштабирования используют геометрическую фигуру с инфракрасными излучателями в местах соединения ребер. Коэффициенты масштабирования получают из соотношения длин ребер тест-объекта и этих же длин в системе координат камеры [9].

Программно-аппаратные комплексы. В 80-х годах стали развиваться программно-аппаратные видеокомплексы регистрации движений [9]. Эти системы представляют собой набор видеокамер с высокой скоростью регистраций, которые подключают к персональному компьютеру вместе со специальным программным обеспечением, которое позволяет проводить расчет произвольных биомеханических характеристик, представляя их в любом виде. Для автоматизированных измерений движения используются специальные светоотражающие либо инфракрасные маркеры, которые крепятся к суставам спортсмена. На сегодняшний день крупнейшими мировыми производителями таких комплексов являются «Ariel Dynamics, Inc», «Motion Analysis Corp», «BioVision Technologies, Inc», «Elite Motion Coach», «Northern Digital, Inc» и другие.

Основным препятствием для использования в отечественных биомеханических исследованиях является высокая стоимость и отсутствие на рынке СНГ систем данного типа. В качестве альтернативы выступает программно-аппаратный комплекс «VideoMotion», разработанный в России. Как отмечает производитель, созданный ими комплекс дает возможность регистрировать любое плоскостное движение и количественно оценивать кинематические характеристики спортивных локомоций.

Использование бесконтактных видеосистем, основанных на применении маркеров, вместе с тем обладает определенными недостатками. В частности, маркеры могут перекрываться другими сегментами тела человека. Определенные требования выдвигаются и к условиям съемки — в случае сильного солнечного света возможно ухудшение качества распознавания маркеров.

В настоящее время зарождается новая технология регистрации движений — безмаркерная оптическая регистрация. Данная технология основана на теории распознавания образов и позволяет регистрировать пространственное движение человека. Такие системы, в частности, разрабатывают и российские компании, причем системные требования к таким системам зачастую ниже, чем к маркерным.

Итак, основная проблема, с которой сталкивается исследователь при использовании оптических систем — точная оцифровка полученного пространственного движения. В индустрии применяется специальный термин — *motion capture*, или *захват движения*. Рассмотрим технологии захвата движения подробнее.

Классификация систем захвата движения

Современные системы захвата движения можно разделить на две большие категории — оптические и неоптические системы. Большинство оптических систем, используемых сегодня, работают на основе маркеров. Однако безмаркерным системам уделяется особо пристальное внимание. Ведь использование маркеров — дополнительная помеха для спортсмена.

Оптические системы захватывают движение от специальных маркеров, которые прикрепляются непосредственно к поверхности тела спортсмена, используя специальные высокоскоростные видеокамеры. Объект съемки окружен откалиброванными камерами, каждая камера получает данные 2D-координат каждого маркера во время съемки. Затем анализируется набор 2D-данных, снятых каждой из камер, и в результате генерируются пространственные координаты маркеров. Оптические системы делятся на маркерные и безмаркерные. В маркерных системах используются две основные технологии: пассивная и активная.

Пассивная оптическая система использует маркеры, сделанные из светоотражающих материалов, чтобы отразить свет, генерируемый рядом с объективом

камеры. Маркеры освещаются с помощью инфракрасных лучей, установленных на камерах. Маркеры крепятся непосредственно к коже или поверхности снимаемого объекта.

Активная оптическая система использует светодиоды, способные мерцать с заданной частотой или по определенной программе. Алгоритмы мерцания светодиодов позволяют специальному программному обеспечению идентифицировать их положение друг относительно друга.

Безмаркерная технология не требует специальных датчиков или специального костюма. Безмаркерная технология основана на технологиях компьютерного зрения и распознавания образов. Спортсмен может сниматься в обычной одежде, что сильно ускоряет подготовку к съемкам и позволяет снимать сложные движения (борьба, падения, прыжки, и т. п.) без риска повреждения датчиков или маркеров. Несколько практически применимых безмаркерных систем были разработаны в последние годы. На сегодняшний день существует программное обеспечение «настольного» класса для безмаркерного захвата движений. В данном случае не требуется специального оборудования, специального освещения и пространства. Съемка производится с помощью обычной камеры (или веб-камеры) и персонального компьютера.

Неоптические системы захвата движений. Существуют три типа неоптических систем: инерционные, механические и магнитные. Наиболее распространенными из них являются инерционные — системы на основе миниатюрных гироскопов. Разница между неоптическими системами, основанными на инерционных датчиках и оптических системах, заключается в том, что первые измеряют вращение, ускорение и сгибание вместо относительного смещения, измеряемого последними. Следовательно, не требуется сложная технология компьютерного зрения для сбора точных данных об относительном движении. Минусы — в большой стоимости.

Анализ существующих трендов в развитии систем захвата движения показывает, что, несмотря на достаточно широкий спектр имеющихся предложений, по соотношению цена/эффективность наиболее перспективным для использования в учебно-тренировочном процессе со спортсменами является использование недорогих безмаркерных систем. Простота в использовании вместе с отсутствием необходимости специальной формы, хрупких маркеров, создания специальных условий для проведения исследований позволяют с уверенностью утверждать, что в ближайшем будущем именно безмаркерные оптические системы захвата движения займут лидирующие позиции в проведении биомеханического анализа локомоций в спортивной тренировке.

1. Донской Д. Д. Биомеханика физических упражнений : учеб. пособие для студентов физкультурных учеб. заведений. М. : Физкультура и спорт, 1958. 278 с. [Вернуться к статье](#)
2. Донской Д. Д. Биомеханика : учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов. М. : Просвещение, 1975. 238 с. [Вернуться к статье](#)
3. Донской Д. Д., Зациорский В. М. Биомеханика : учеб. для ин-тов физ. культуры. М. : Физкультура и спорт, 1979. 264 с. [Вернуться к статье](#)
4. Загrevский В. И. Биомеханика физических упражнений : учеб. пособие для студентов вузов по специальности «Физическая культура и спорт». Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2003. 140 с. [Вернуться к статье](#)
5. Загrevский В. И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем. Томск : Том. гос. пед. ун-т, 1999. 156 с. [Вернуться к статье](#)
6. Кравченя Э. М. Технические средства обучения : учеб. пособие. Минск : Выш. шк., 2005. 304 с. [Вернуться к статье](#)
7. Лавшук Д. А. Методика организации биомеханических исследований на основе компьютерных технологий обработки видеоматериалов регистрации движений // Кулешовские чт. : тез. докл. науч.-практ. конф., Могилев, 6–7 февр. 2001 г. / МГУ им. А. А. Кулешова. Могилев, 2001. С. 84–86. [Вернуться к статье](#)
8. Попов Г. И. Биомеханика : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Физическая культура». М : Акад., 2005. 256 с. [Вернуться к статье](#)
9. Сучилин Н. Г., Соловьев Н. Г., Попов Г. И. Оптикоэлектронные методы измерения движений человека. М. : ФОН, 2000. 126 с. [Вернуться к статье](#)